

Représentation mathématique du temps : après Reichenbach

Sylviane R. Schwer

LIPN, UMR 7030 (Université Paris13 et CNRS)

La plupart des modèles formels du temps pour la linguistique assimilent *in fine* « la ligne métaphorique du temps » à la droite numérique des nombres réels. Pourtant, beaucoup de linguistes ont adopté une approche relationnelle de la temporalité, se fondant sur les travaux de Reichenbach (1947). Nous montrons ici qu'il existe un modèle mathématique qui suit de manière naturelle cette approche relationnelle. Il s'agit du modèle des S-langages, fondé sur la théorie des langages formels. En effet, ce modèle (i) capte les deux relations temporelles fondamentales de *précédence* et de *simultanéité*, (ii) permet de représenter à la fois les propriétés de *discrétion* et de *continuité* des objets linguistiques, (iii) fournit les opérateurs algébriques nécessaires au raisonnement temporel sans recours au temps défini par une théorie logique.

Introduction

Une communauté importante de linguistes considère que le langage réfère *in fine* à des objets du monde réel qui ont, en tant que tels, une extension temporelle, qu'il convient de faire coïncider par une série d'opérations cognitives, avec l'image métaphorique et spatialisée du temps physique, celle de la ligne géométrique. Cette démarche est connue sous le nom d'*approche référentielle* (Moeschler 1998, Saussure 2003). Mais la plupart des modèles formels du temps pour la linguistique assimilent cette ligne géométrique à la droite numérique, soit en la considérant en son entier, c'est-à-dire en l'associant à l'ensemble des nombres réels, soit en se restreignant à l'ensemble des entiers, chaque entier étiquetant le début d'un petit segment de la ligne, représentant chacun une « unité ». Ces ensembles sont munis d'une relation d'ordre linéaire, notée « $<$ » et nommée *précédence*, qui traduit les deux attributs fondamentaux de notre représentation du temps physique : l'orientation et la linéarité. Le nombre a précède le nombre b si la différence $b-a$ est positive, le nombre a se situe alors sur cette ligne numérique à la gauche du nombre b . En confondant nombre et point, nous dirons que, du point de vue temporel, le point a est antérieur au point b ou que le point b est postérieur au point a . La simultanéité de deux points correspond à l'égalité des nombres associés. Mais ces deux ensembles de nombres, munis de cette relation d'ordre, présentent des structures topologiques très différentes. L'ensemble des réels est *continu* alors que celui des entiers est *discret*. Ces deux termes sont pris ici dans leur sens mathématique et non

dans leur sens usuel. C'est pourquoi nous allons revenir ici sur ces définitions et plus généralement sur les propriétés des ensembles de nombres usuels ayant une structure d'ordre linéaire, à savoir, les quatre ensembles suivants : \mathbb{N} , l'ensemble des nombres entiers naturels, \mathbb{Z} l'ensemble des nombres entiers relatifs, c'est-à-dire des nombres entiers signés (positifs, négatifs ou nul) ; \mathbb{Q} l'ensemble des nombres rationnels et \mathbb{R} l'ensemble des nombres réels. Ils sont tous munis de la même relation d'ordre de précédence. La propriété commune est la linéarité, c'est-à-dire que si l'on prend deux nombres quelconques différents p et q , l'un des deux précède l'autre, mais les autres propriétés diffèrent selon l'ensemble.

$\mathbb{N} = \{0, 1, 2, \dots\}$ possède un plus petit élément, le nombre zéro, noté 0, sans plus grand élément et discret, c'est-à-dire qu'il existe tout entier naturel n précède un unique élément, noté $n+1$ qui est son plus petit successeur¹. De même tout entier naturel non nul n possède un plus grand prédécesseur, noté $n-1$. \mathbb{N} permet l'énumération ascendante *ad libitum* de toute suite d'éléments, mais toute énumération descendante est limitée, ce qui permet de stopper par exemple les mises en abyme de certaines procédures récursives. \mathbb{N} est l'archétype de toutes les collections dont on peut énumérer les objets. Est appelé *dénombrable* tout ensemble en correspondance injective (univoque) avec \mathbb{N} . En arithmétique l'opération d'addition et de multiplication sont complètes, la soustraction et la division sont restreintes.

\mathbb{Z} , ensemble des nombres entiers $\{\dots, -2, -1, 0, 1, 2, \dots\}$, est aussi un ensemble discret mais sans plus petit élément ni plus grand élément. Il permet l'énumération ascendante et descendante *ad libitum*, donc les mises en abyme. En arithmétique les opérations d'addition, de multiplication et de soustraction sont complètes, la division est restreinte.

\mathbb{Q} est l'ensemble des nombres que l'on peut écrire comme quotient de deux entiers. Bien que dénombrable, cet ensemble est dense, c'est-à-dire qu'entre deux nombres distincts p et q , on peut toujours en trouver un troisième distinct des deux précédents, par exemple le nombre $\frac{p+q}{2}$. Il est sans plus petit ni plus grand élément pour l'ordre défini. En arithmétique, les quatre opérations sont complètes (sauf la division en 0). Mais toutes les grandeurs n'y sont pas représentées : la longueur de la diagonale d'un carré de côté de longueur entière, au grand dam des anciens, par exemple n'y est pas représentée. Le passage à la limite des suites de Cauchy bornées² n'est pas non plus garanti. On dit que \mathbb{Q} n'est pas continu.

L'ensemble des nombres réels \mathbb{R} a été construit pour combler les déficits de \mathbb{Q} . C'est un ensemble non dénombrable. Il est continu dans le sens, par

¹ C'est-à-dire qu'aucun entier naturel ne peut s'insérer entre eux dans la relation $<$.

² Une suite de Cauchy est une suite de nombres (u_n) dont la progression (la différence entre u_{n+1} et u_n) tend vers zéro quand n tend vers l'infini. Une suite est bornée quand toutes les valeurs de ses éléments sont comprises entre deux nombres donnés.

exemple³, où toute suite de Cauchy possède une limite appartenant R. En logique du premier ordre, il est impossible de discriminer Q et R (aucun prédicat ne les différencie) car la propriété de continuité porte sur des ensembles d'éléments (suite de Cauchy, ou, dans le cas des coupures, sur des intervalles). Mathématiquement, il n'est donc pas possible pour un ensemble de nombres d'être à la fois discret et continu.

Beaucoup de linguistes-logiciens ou logiciens-linguistes ont travaillé sur les propriétés formelles du temps fondées sur l'un de ces ensembles de nombres. Kamp & Reyle (1993) *in fine* associe des points de la droite numérique réelle à ses événements, avec un statut peu clair du *maintenant* (*now*) qui tantôt se comporte comme un événement tantôt comme un instant. Bennett et Partee (1978 :12-13), Desclés (1980) prennent pour objet temporel des intervalles construits sur l'ensemble des nombres réels. Leur motivation pour choisir l'ensemble des réels repose sur les propriétés suivantes : (i) cet ensemble est infini inférieurement et supérieurement, (ii) l'ordre est dense, (iii) il existe des bornes supérieures et inférieures pour les intervalles bornés. Vet (1980 :38-39) pointe le fait que la modélisation mathématique du temps physique en un continu mathématique ne s'impose pas d'emblée en linguistique mais les propriétés qu'il retient sont incompatibles pour trouver une représentation par un ensemble linéaire numérique : « Nous le [Temps] concevons comme un ensemble infini de moments ordonnés linéairement selon la relation < (antérieur ou simultané à) et comme étant de nature discrète et dense. » ...« Très souvent (en physique par exemple), on considère le temps comme étant de nature continue. Nous n'avons pas trouvé d'arguments convaincants pour adopter ce point de vue dans une description linguistique, ni d'ailleurs pour le rejeter ». Guentcheva(1990 :26) semble adopter une vision granulaire du temps, c'est-à-dire l'approche discrète « L'intervalle [de Temps] est un ensemble orienté d'instants contigus » tout en réclamant une propriété de densité « L'intervalle est donc un continu construit d'instants contigus au sens où il est toujours possible d'insérer un instant entre deux instants ». En effet, un continu semble bien pris pour continuum. Deux parties sont contiguës (mathématiquement ou non) s'il est impossible d'insérer une autre partie entre les deux, définition qui s'oppose à la propriété mathématique de densité qui fait que l'on peut toujours insérer un élément entre deux éléments distincts. Il y a donc ici une contradiction interne aux objets définis.

Il apparaît que le langage dit des choses d'apparences contradictoires, sans que cela pose de problèmes à la compréhension, car nous portons certainement en nous ces deux aspects qui, s'ils sont reconnus contradictoires conceptuellement, ne le sont pas dans l'usage quotidien. Les deux images

³ Une autre construction se fonde sur une partition de Q en deux intervalles, dont le point de contact n'existe pas toujours dans Q.

métaphoriques du temps utilisent le même schéma visuel, la ligne géométrique, dont l'interprétation dépend de niveaux cognitifs différents, liés à des usages différents. Modéliser formellement le temps linguistique doit donc tenir compte de l'ensemble de ces aspects, c'est-à-dire répondre positivement aux exigences de Vet ou de Guentcheva, sans violer les lois des mathématiques, donc nécessite de sortir du cadre des ensembles numériques. En revanche, considérer la ligne géométrique comme figure métaphorique du temps, y poser des instants et des durées, est compatible avec une mathématisation du temps. Il faut simplement savoir dire ce qu'est un instant et une durée.

Dans la première partie de cet article, nous avons montré en quoi les ensembles de nombres ne sont pas des représentations adéquates du temps linguistique. Nous revenons dans la section suivante sur quelques problèmes fondamentaux concernant le temps, dans les trois disciplines les plus concernées : la physique, la philosophie et la linguistique afin de situer « métaphysiquement » l'approche reichebachienne. Nous présentons alors l'approche relationnelle systématique de Reichenbach pour décrire la représentation des temps verbaux. Nous rappelons alors les notions principales des S-langages (2006a), comme extension naturelle du modèle de Reichenbach, nous montrons qu'on peut organiser l'ensemble des treize formes possibles de motifs définis par Reichenbach pour décrire les temps verbaux en un treillis, lui-même temporellement orienté du temps le plus passé vers le temps le plus futur, grâce à un système de réécriture du modèle des S-langages. Nous décrivons de la même façon le treillis dans lequel se situent les formes possibles de motifs utilisés notamment par Saussure (2003) pour décrire certains temps. Nous terminons par un exemple concernant le problème du traitement du maintenant.

2. Les problèmes du Temps

Nous montrons dans cette partie comment s'abstraire du recours à toute droite numérique pour modéliser le temps. Il nous semble ici utile de nous remémorer certains travaux philosophiques du début du dix-neuvième siècle concernant le temps, en particulier ceux concernant l'aspect relationnel. Nous aborderons d'abord certaines réflexions de Russell, puis de MacTaggart. Ces travaux ne sont pas sans rapport avec les trois problèmes majeurs auxquels les physiciens ont eu à répondre depuis l'Antiquité :

-- le problème de la métrique, correspondant à la question COMBIEN DE TEMPS ? mesure du temps sans cercle vicieux (on ne peut mesurer le temps sans mouvement et le mouvement sans temps). Ce problème est une question de mesure et renvoie à la notion de grandeur et de nombres cardinaux.

-- le problème topologique (analysis situs), correspondant à la question QUAND ? : antérieur/postérieur, succession, irréversibilité de certains phénomènes. Ce problème est une question de structure d'ordre et renvoie à la notion de nombres ordinaux.

-- le problème de la simultanéité et/ou du présent : peut-on réduire le concept ou l'expérience du présent au problème de simultanéité ?

Aristote traduit *το νυν* tantôt par *maintenant* tantôt par *l'instant*. La théorie de la relativité a relativisé la notion de simultanéité, donc celle de présent (Einstein disait avoir mis cette question du maintenant de côté), relative au cadre de référence et à la vitesse relative du cadre mobile. Sommes-nous affectés réellement (à l'échelle humaine de notre quotidien) par cette théorie ?

2.1. Russell et la notion d'ordre

Bertrand Russell écrivait en 1901 :

« Une collection ordinaire de termes peut être ordonnée par énumération, auquel cas elle est en correspondance naturelle avec l'ensemble des entiers naturels ; par le discours (speech), auquel cas elle est en correspondance avec une séquence de temps (times) ; ou par l'écriture, auquel cas elle est en correspondance avec une séquence de places. Mais cet ordre naît, dans chacun des cas, de l'ordre intrinsèque des entiers, des temps ou des places respectivement. Ceux-là ont un ordre indépendant de nos caprices, ils forment ce que j'appellerais des séquences indépendantes ou autosuffisantes. »

Le fait de parler de séries renvoie *in fine* à l'ensemble des nombres entiers naturels, comme ensemble indiciel, dont la propriété de discrétion est associée à la possibilité de définir une fonction successeur et une fonction prédécesseur (sauf pour le premier élément, puisqu'une série possède un élément premier). Le temps possède une structure d'ordre intrinsèquement linéaire, qu'une séquence discrète suffit à définir, car nous ne pouvons appréhender le continu qu'en le discrétisant. Il est bien évident que tout discours, réfère au sens de Russell à une *collection ordinaire* d'événements, c'est-à-dire un ensemble énumérable d'événements. Tous les travaux concernant l'ordonnancement temporel des événements décrits dans les discours narratifs tel que l'ont traité Kamp (1981), Kamp & Rohrer (1983), Kamp et Reyle (1993), Combettes et al. (1993), Lascarides et Asher (1993), Gosselin (1996), Moesler et al. (1998), Saussure (2003) s'inscrivent dans ce cadre-là, car il est impossible d'adopter une démarche procédurale hors du cadre de l'énumération. Cela ne préjuge en rien de la nature du temps, car, en héritiers de l'approche relationnelle de Reichenbach, ces linguistes ne traitent que de relations aspectuo-temporelles entre procès et non de temps *stricto sensu*. Cela autorise d'adopter comme image métaphorique la ligne orientée du temps, sur laquelle on placera, de façon relative, les temps (époques,

instants ou moments) pertinents pour la description de la temporalité des discours. Car, comme le rappelle Saussure (2003 : 37) « L'interprétation [d'un discours ou d'un texte] n'est pas donnée mais construite » à partir des indices que le linguiste repère d'abord dans le texte puis au-delà quand la sous-détermination inhérente à la plupart des discours ou des textes le suppose.

Terminons cette section en rappelant que dès 1910 Russell (1961 :13) adoptera une autre approche des temps : « Whitehead m'avait persuadé que l'on peut faire de la physique sans supposer que les instants et les points font partie de la substance du monde. Il considérerait...[qu'elle] peut consister en événements, chacun d'eux occupant une quantité finie d'espace temps ». Sur cette dernière représentation est fondée le calcul événementiel de Kamp (1981) et sa définition des instants.

2.2 Les trois séries temporelles de McTaggart

McTaggart (1908) soutient la thèse de l'irréalité du temps. Sa thèse a donné lieu à une abondante littérature chez les philosophes, ce qui n'est pas ici notre propos. En revanche, les trois séries temporelles qu'il a distingué en se fondant sur nos façons de parler du temps sont encore aujourd'hui des éléments de référence qu'il est utile de connaître dans le cadre de notre étude. La première série (A) concerne la représentation déictique du temps, la seconde série (B) concerne la représentation relationniste du temps, et la troisième la représentation calendaire (ou sociétale) du temps. La plupart des linguistes concernés par la représentation des temps verbaux retiennent la série B (Kamp, Vet, Wilmet, Gosselin, Saussure). Quant à la série C, nous avons montré (Schwer 2002) qu'elle est clairement relationnelle.

2.2.1 Série temporelle A

Cette série repose sur les trois prédicats *être passé*, *être présent*, *être futur* qui définissent trois états différents pour chaque procès, qui se trouve toujours dans un seul de ces états. Plus précisément, chaque procès passe successivement par ces trois états : *la mort de César* fut un événement futur, puis présent, puis passé, seul état qui perdure une fois qu'il est atteint. Mais ces états sont indépendants de la nature de l'événement.

2.2.2 Série temporelle B

Cette série repose sur les trois relations binaires *être avant*, *être simultanément*, *être après*. Ces relations sont définitives. L'événement *la naissance de César* a toujours précédé l'événement *la mort de César*.

La série A serait subjective tandis que la série B serait objective car décrivant des relations permanentes. Mc Taggart (1908) soutient que la série temporelle A est plus essentielle à la nature du temps que la série B⁴. L'expérience dit que ce qui arrive, arrive toujours dans le présent. Au présent nous agissons, nous pensons, nous nous remémorons, ... Le présent serait donc un temps premier, toujours lié au moins à la notion de simultanéité. Mais quand nous voulons penser le temps indépendamment de ce que nous sommes temporellement, ces trois déterminations (présent, passé, futur) semblent perdre leur réalité, mais émerge un concept plus objectif et plus physique *la simultanéité* et sa négation *la succession*.

2.2.3 Série temporelle C

C'est la série chronologique, celle des calendriers. Du point de vue linguistique, il est possible de réduire la série A en la série B par le médium du calendrier. Le *maintenant* est lié à une granularité ou échelle de temps : un temps granulaire, discret par l'énumération ordinale de ses granules, continu par la contiguïté des granules. C'est la vision granulaire du temps de (Guentchéva, 1990). L'orientation des granules est donnée par le sens de l'énumération. Quant à l'exigence de densité, elle est subjectivement satisfaite. En effet, reportons nous à la théorie physique développée par la mécanique quantique. Cette théorie a mis en évidence des barrières au sens à donner aux lois de la physique : le temps de Planck (la plus petite mesure de temps à laquelle nous puissions avoir accès, évaluée à 10^{-41} seconde) oriente vers un temps corpusculaire, c'est-à-dire atomique. Mais la limite de discrimination de l'humain n'est que de l'ordre de 10^{-1} seconde, celle des meilleures horloges atomiques de 10^{-21} seconde. Ce qui laisse la place à des divisions en puissance quasiment *ad libitum*. Ces temps de Planck correspondent à notre notion de *moment*. Un calendrier est de notre point de vue (Schwer 2002) une structure partiellement ordonnée de chronologies, ayant un plus petit élément. Chaque chronologie est une séquence de segments temporels contigus partitionnant la ligne métaphorique du temps, associée à une unité. Par exemple, l'unité *Année*, découpe la ligne métaphorique du temps en segments contigus représentant chacun une année donnée, repérée par un entier relatif, à partir d'une année de référence, sans aucune considération de mesure respective entre les segments, qui sont considérés comme équivalents, relativement à l'unité qui les définit. La seule mesure possible entre chronologies se fait en fonction de leurs unités respectives. Entre les unités *Année* et *Mois*, chaque segment *année* est divisé

⁴ « I believe, however, that this would be a mistake, and that the distinction of past, present and future is as essential to time as the distinction of earlier and later, while in a certain sense, as we shall see, it may be regarded as more fundamental than the distinction of earlier and later. And it is because the distinctions of past, present and future seem to me to be essential for time, that I regard time as unreal. »

en 12 segments *mois*. Pour traduire les unités *Mois* en unités *Jours*, un algorithme (ou des tables de computes) permet d'assigner au segment correspondant au mois *m* le nombre de *segments-jours* adéquats. Nous pensons que l'exigence de densité de (Guentcheva 1996) correspond à ce phénomène de divisions d'un segment en segments plus petits, enserrant dans des grilles de plus en plus fines les événements, c'est-à-dire en les horodatant de plus en plus précisément.

Comme le dit Einstein en 1905 « "Tel train arrive ici à 7 heures", cela signifie à peu près : "Le passage de la petite aiguille de ma montre sur le 7 et l'arrivée du train sont des événements simultanés"⁵ ». Ainsi situer un événement au sein d'une chronologie dans un calendrier, c'est le faire participer à une relation temporelle de simultanéité ou d'antériorité/postérité.

3. le modèle relationnel de Reichenbach

Le philosophe et linguiste Hans Reichenbach (1891-1953) a présenté en quelques pages (Reichenbach 1947:section 51) une analyse relationnelle des temps verbaux du système anglais qui est à la base de la plupart des théories linguistiques modernes sur le temps. Son raisonnement se fonde sur le fait que les différentes significations des temps verbaux peuvent se comprendre en termes de relations entre trois « éléments temporels », qui sont les extensions temporelles de trois « procès » intervenant dans l'énonciation d'une proposition à l'intérieur d'un énoncé. Le premier procès est celui de l'énonciation, dont il nomme extension temporelle « moment de la parole S (point of speech) ». Le second procès est celui de l'événement décrit par la proposition elle-même — liée à l'expression verbale —, dont il nomme l'extension temporelle « le moment de l'événement E (point of event) ». Le troisième procès, qui est l'originalité de l'analyse reichenbachienne, présente essentiellement l'environnement — ou le contexte — par rapport auquel le procès de la proposition est décrit, et l'extension temporelle associée est nommée « le moment de référence R (point of reference) ». Vitry (1644 : 20-21) dans sa description des temps verbaux latins avait déjà mentionné la nécessité de ce troisième point :

« Entre les preterits il y a cette différence, que le Parfait marque le temps passé simplement, comme le mot le porte.

L'Imparfait marque une action comme présente au regard d'un temps passé dont nous parlons comme DUM INTRAVIT LEGEBAM *je lisois quand il est entré* : mon action de lire étant présente au regard de son entrée.

⁵ Einstein ajoute plus loin : «... cette définition ne suffit cependant plus dès lors qu'il s'agit de relier temporellement des séries d'événements qui se produisent à des endroits différents.» En fait, pour disposer d'un temps coordonné en des lieux différents, il faut synchroniser les horloges qui s'y trouvent. Acceptons le fait que cela est fait. Situer un événement par rapport à un élément chronologique (au sein d'un calendrier) est donc tout aussi relatif que par rapport à un événement quelconque.

Le Plus que parfait au contraire, marque une action désignée passée au regard même d'une chose passée dont nous parlons, comme Dum intravit cenaveram, quand il est entré, j'avais déjà soupé. »

Le mathématicien et grammairien Beauzée (1717-1789) avait déjà mis en évidence l'existence de ces trois points et des relations similaires (voir par exemple Saussure 1997).

Reichenbach, philosophe des sciences, s'est intéressé au problème philosophique du temps (Reichenbach 1956). Il y distingue deux concepts fondamentaux, d'une part un *ordre causal* et d'autre part *une direction*, c'est-à-dire une flèche du temps. Ces travaux se font dans le cadre physique de la théorie de la relativité. Le temps, dans son association à l'espace, reste de dimension un, assimilable à la droite numérique des nombres réels, c'est-à-dire privilégie l'aspect quantitatif (pour calculer et mesurer, en particulier grâce à la définition d'une distance) à l'aspect qualitatif ou topologique (situer les éléments les uns par rapport aux autres). Mais à lire (Reichenbach 1947 : sections 50 et 51) nous trouvons :

- (i) un temps articulé autour d'un moment particulier, celui d'énonciation S, qui organise la ligne métaphorique du temps selon l'avant et l'après, en deux parties contiguës en S et infinies en leur autre extrémité, qui fonde le passé et le futur. S détermine pour sa part le présent.
- (ii) l'approche d'un calcul de l'ordre temporel fondé sur les deux relations topologiques de précédence et de simultanéité exactement de même nature que le calcul événementiel des philosophes de la nature : E, R et S pourraient tout aussi bien être les événements que des moments. Ces objets étant considérés comme ponctuels, les relations binaires entre deux de ces points X et Y sont soit la simultanéité, notée X,Y ou Y,X par Reichenbach, soit la précédence de l'un par rapport à l'autre, ce qui donne deux possibilités (a) X précédant Y, notée X-Y et (b) Y précédant X, Y-X.
- (iii) Dans ce calcul, c'est le point de référence qui fait office de pivot : E et S sont situés par rapport à R, leur situation mutuelle est simplement inférée, ce qui explique la sous-détermination des configurations dans lesquelles E et S se situent du même côté de R, soit R-S et R-E [resp. S-R et E-R] qui donne les trois situations R-E-S, R-S-E et R-S,E [resp. E-S-R, S-E-R et E,S-R]
- (iv) L'analyse des temps verbaux de l'indicatif se fait à l'aide des deux relations liant R et S d'une part et R et E d'autre part, tous trois considérés comme ponctuel, mais Reichenbach indique que certains temps nécessitent une extension durative de E, pour notamment les temps progressifs de l'anglais ou certains emplois de l'« English present perfect » (figure 1a). Reichenbach utilise également une répétition de E ponctuel pour illustrer la répétition (figure 1b).

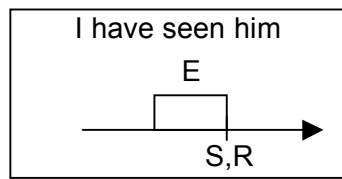


Figure 1a

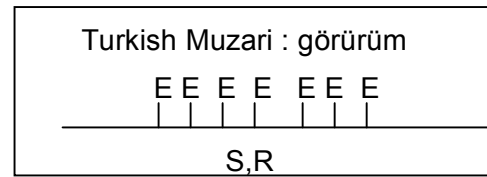


Figure 1b

Nous avons montré précédemment que le modèle de la droite numérique réelle est en fait inadapté pour dépeindre le temps tel qu'il est décrit au travers de la langue, en particulier parce qu'il se fonde sur une définition du continu mathématique qui n'est pas compatible avec la notion linguistique de continuité ou continuum. Cette notion s'accorde mieux à une approche qualitative et relationnelle du temps, telle que l'a proposée Reichenbach. Il a également (1947:292) esquissé le problème du calcul de l'ordonnancement des procès dans des textes narratifs. Le problème qui se pose est le cheminement temporel que le texte trace pour le lecteur tout au long de sa lecture : rester sur place, avancer, reculer, changer de granularité (voire de ligne de temps, par changement de contexte/modalité). Ce calcul se fait par combinaison des motifs correspondant à chaque temps verbal, augmentés de contraintes supplémentaires. Kamp (1981,1983) a mis en lumière le rôle de curseur du temps référentiel dans des textes au passé simple et à l'imparfait. Depuis de nombreuses règles ont été établies (François 1993, Kamp & Reyle 1993, Lascarides et Asher 1993, Gosselin 1996, Moesler et al 1998, Saussure 2003). Ces travaux prennent en compte non seulement les indices linguistiques (adverbes, connecteurs, subordonnées temporels) mais aussi des informations extralinguistiques, pragmatiques, souvent fondées sur des théories de la communication. Les règles peuvent donc diverger d'une école à l'autre, se raffiner au cours du temps. Il n'est pas toujours clair de les comparer, eu égard à la nature différentes des éléments de bases utilisés. Par exemple, comment comparer la représentation des systèmes de temps verbaux de Wilmet (2003) avec celui de Vet (2004) qui ne représentent pas les procès de la même façon ? Le cadre formel des S-langages permet aussi, en d'offrant un cadre unique de représentation et de calcul, de pouvoir les comparer (Schwer 2006b).

4. Le cadre des langages formels pour modéliser le temps linguistique.

Ce cadre a été exposé en détail dans (Schwer 2006a). Nous en rappelons les idées essentielles concernant les deux relations de précédence et de simultanéité. Nous décrirons l'opération de calcul à travers deux des exemples de Reichenbach concernant le traitement temporel de plusieurs phrases. Puis

nous montrerons que dans ce cadre, on peut organiser, grâce à un système de réécriture bien choisi, les motifs des temps verbaux de Reichenbach au sein d'un treillis allant du temps le plus passé au temps le plus à-venir, avec une position centrale du temps « présent ». Nous montrons comment généraliser ce treillis à une représentation recouvrant les motifs des temps verbaux qui utilisent un événement duratif (par exemple Saussure 2003). Nous montrons alors comment prendre en compte le problème des événements composés puis nous revenons sur le problème de la modélisation du maintenant.

4.1 Les langages formels pour modéliser la succession

L'idée est déjà présente chez Russell : la discrétion de la série des moments significatifs, la continuité implicite de l'espace vide entre ces temps. Ces temps significatifs sont à la fois des ruptures et des articulations : ils discrétisent, tout en assurant la continuité. Pour permettre de représenter des phénomènes duratifs ou itératifs, il est difficile de travailler directement sur les phénomènes. Pour les traiter, il faut commencer par poser leur existence. Cela se fait par l'affectation d'une *identité*. L'ensemble A des identités est utilisé comme ensemble de lettres. C'est donc un *alphabet* sur lequel nous allons écrire des mots, ou suites (finies) de lettres, qu'on écrit et qu'on lit de gauche à droite, ce qui donne la direction. Il y a deux types de mots, ceux constitués avec des occurrences d'une seule lettre, et les autres mots. Les premiers permettent de représenter le nombre de fois que le phénomène qu'il représente se distingue dans le temps, ou bien qu'on souhaite le distinguer, appelons sa *trace temporelle*. Par exemple, associons au procès P l'identité p : (i) si le procès P est décrit comme instantané, on lui associe le mot p , pour signifier que son début n'est pas différencié de sa fin (ii) s'il est décrit comme duratif, on lui associe le mot pp , pour signifier qu'il possède un début, une fin, mais que tout le temps de son déroulement, rien de significatif n'est pris en compte (iii) si l'on veut représenter le fait qu'il a un début, un milieu et une fin on le représentera par le mot ppp , ...⁶

Les autres mots dépeignent les relations temporelles qu'il peut exister entre les procès dont l'identité figure dans ces mots. Pour chaque identité présente,

⁶Si l'on veut mélanger les représentations, il faudra différencier les objets qu'on représente de façon instantanée de ceux qu'on représente de façon durative. Ainsi on peut adopter pp pour représenter une occurrence unique d'un procès duratif et pp deux occurrences d'un procès instantané. Pour représenter le début, le milieu et la fin d'un procès, on pourra utiliser le marquage suivant ppp , ce qui le différencie de ppp (trois occurrences de P ponctuel) ou ppp (Une première occurrence ponctuelle de P d'une seconde occurrence durative, sans marquage du milieu.) D'autres qualités peuvent être indicées : comme le fait d'avoir une extension temporelle correspondant à un intervalle simple, ou fermé ou ouvert (Bennett, Culioli, Desclès). Les types des intervalles correspondent à une classification des procès : intervalles fermés pour les événements, ouverts pour des états ou des activités. Mais on peut également indiquer d'autres propriétés, comme la durée, la relation partie-tout entre certains événements ... Le calcul de l'ordonnancement temporel se fait sur les occurrences des lettres, en prenant en compte le reste comme contrainte s'il y a lieu.

le nombre d'occurrences de cette lettre doit correspondre exactement au nombre d'occurrences présentes dans sa trace temporelle. Ainsi supposons qu'on a deux procès duratifs P et Q, d'identité p et q . Leurs traces temporelles sont respectivement pp et qq . Le mot $pqqp$ signifie que le procès Q s'est déroulé pendant le déroulement du procès P. Le mot $pqpq$ signifie que P a commencé, puis Q a commencé avant que P ne termine, et Q s'est terminé en dernier. Quatre moments significatifs ont été inscrits dans le temps, qui définissent 5 périodes D1, D2, D3, D4, D5 (figure 2) :

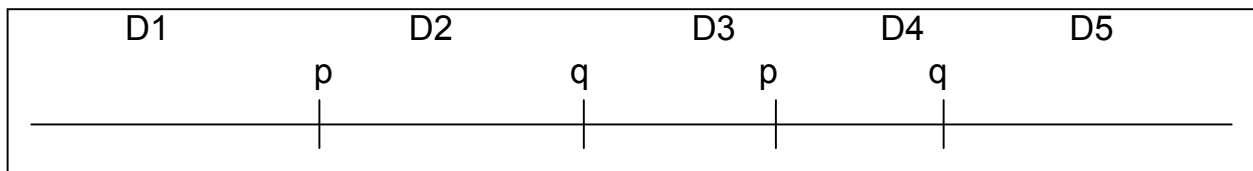


Figure 2 : modélisation du temps par les mots

La période D1 correspond à l'absence des Procès P et Q, la période D2 correspond au déroulement de P tant que Q n'est pas manifesté, D3 correspond au déroulement simultané de P et Q, D4 correspond au déroulement de Q, une fois P terminé et D5 à la période post-opératoire de P ou Q. L'absence de mesure qualitative des durées retient comme seul rythme du monde, celui des événements décrits. Ajouter des informations quantitatives (liées à des calendriers) revient à utiliser des événements itératifs et à utiliser les occurrences de leurs identités pour effectuer des comptages pour mesurer des quantités d'unités qui leur sont associées.

4.2 Modéliser la simultanéité

A un moment peut correspondre l'expression de plusieurs procès, qui peuvent par exemple débuter simultanément. Il est donc nécessaire d'écrire les mots non sur des lettres mais des parties non vides d'ensembles de lettres, appelées *S-lettres*. C'est une raison de plus de ne pas travailler directement sur les moments, qui constituent chacun un simple réceptacle, comme classe d'équivalence de la simultanéité. Une séquence de S-lettres est un S-mot. Un ensemble des S-mots est un S-langage. Ainsi le S-mot $\{p,q\}pq^7$ signifie que les deux Procès duratifs P et Q ont débuté ensemble mais que P s'est terminé avant Q. Il n'y a donc que trois moments significatifs : un premier moment qui contient les débuts de P et Q, un second moment contenant la fin de P et un troisième moment contenant la fin de Q.

⁷ On confond une lettre x avec le singleton $\{x\}$ qui la contient.

4.2 Le calcul

Il suffit là encore de suivre Reichenbach. Il propose, quand une phrase est composée de plusieurs propositions, d'ajuster leurs temps aux règles de concordances des temps. Pour Reichenbach, cela revient à la règle de *permanence du point de référence*. Ainsi, Reichenbach, pour la phrase (2)

(2) I had mailed the letter when John came and told me the news

(J'avais envoyé la lettre quand Jean vint et me rapporta les nouvelles)

associe à la première proposition le motif temporel E_1-R_1-S , à la seconde R_2, E_2-S et à la troisième R_3, E_3-S . Il impose la règle $R_1=R_2=R_3$. Ce qu'il traduit graphiquement par :

$$\begin{array}{c} E_1-R_1 \quad -S \\ R_2, E_2-S \\ R_3, E_3-S \end{array}$$

On constate que

- (i) hormis le trait "—" utilisé pour désigner le séquençement, la ligne métaphorique du temps est devenue implicite
- (ii) (en revanche, les trois moments significatifs sont bien dégagés : le premier contient E_1 , le second E_2 et E_3 ainsi que les trois références, le troisième l'élocution
- (iii) l'usage d'un point de référence différent pour chaque proposition est très lourd, surtout que la règle stipule l'identité des points de référence. Le statut de ce point fait encore l'objet de nombreuses questions (Cf Saussure (2003 :173-178).

Le calcul de Reichenbach est fait en fusionnant les trois motifs et la règle. Dans le formalisme des S-langages, l'égalité des points de Reichenbach est traduite par la simultanéité des événements correspondants. L'opération d'ajustement qui consiste à fusionner les éléments identiques (S), et à calculer l'ensemble des ordonnancements possibles s'écrit avec l'opérateur de jointure Ξ ce qui donne

$$E_1 R_1 S \Xi \{R_2, E_2\} S \Xi \{R_3, E_3\} S \Xi \{R_1, R_2, R_3\}$$

Le calcul donne une seule possibilité : $E_1 \{R_1, R_2, R_3, E_2, E_3\} S$. En suivant la méthode de Saussure, nous pouvons écrire $E_1 \{R, E_2, E_3\} S$. Nous pensons que ce « curseur » fonctionne comme celui qui sert en informatique au système de gestion de fichiers : il permet de retenir où l'on se situe à l'intérieur d'un fichier en cours de lecture, afin de poursuivre en séquence, quelque soit le lieu de stockage des différents éléments du fichier. Nous l'interprétons comme signifiant : « JE (l'auteur du texte) TE (le lecteur) situe ICI (le "point" d'où tu dois imaginer la situation) MAINTENANT (que tu lis cette proposition).

Reichenbach donne également un exemple violant sa règle d'identité des points de référence :

(3) He was healthier when I saw him than when he is now.

(Il était en meilleure santé quand je l'ai vu qu'il ne l'est maintenant)

La structure donnée par Reichenbach est la suivante :

$$\begin{array}{l}
 R_1, E_1 \text{---} S \\
 R_2, E_2 \text{---} S \\
 \quad \quad S, R_3, E_3
 \end{array}$$

C'est-à-dire qu'il a appliqué la règle d'identité des références à R_1 et R_2 , mais il est impossible d'appliquer cette règle avec R_3 sans créer un conflit avec S . Reichenbach introduit alors la règle de « *l'usage positionnel du point de référence* », sans en dire plus. Notre traduction est la suivante

$$\{E_1, R_1\}S \sqsubseteq \{R_2, E_2\}S \sqsubseteq \{S, R_3, E_3\} \sqsubseteq \{R_1, R_2\} = \{R_1, R_2, E_1, E_2\} \{S, R_3, E_3\}.$$

Revenant au problème général de positionnement relatif de trois points, Reichenbach constate que le fait prendre R comme point de comparaison pour E et S , sans considérer de relation directe entre E et S , organise les treize configurations en neuf classes qui correspondent à 9 temps verbaux.

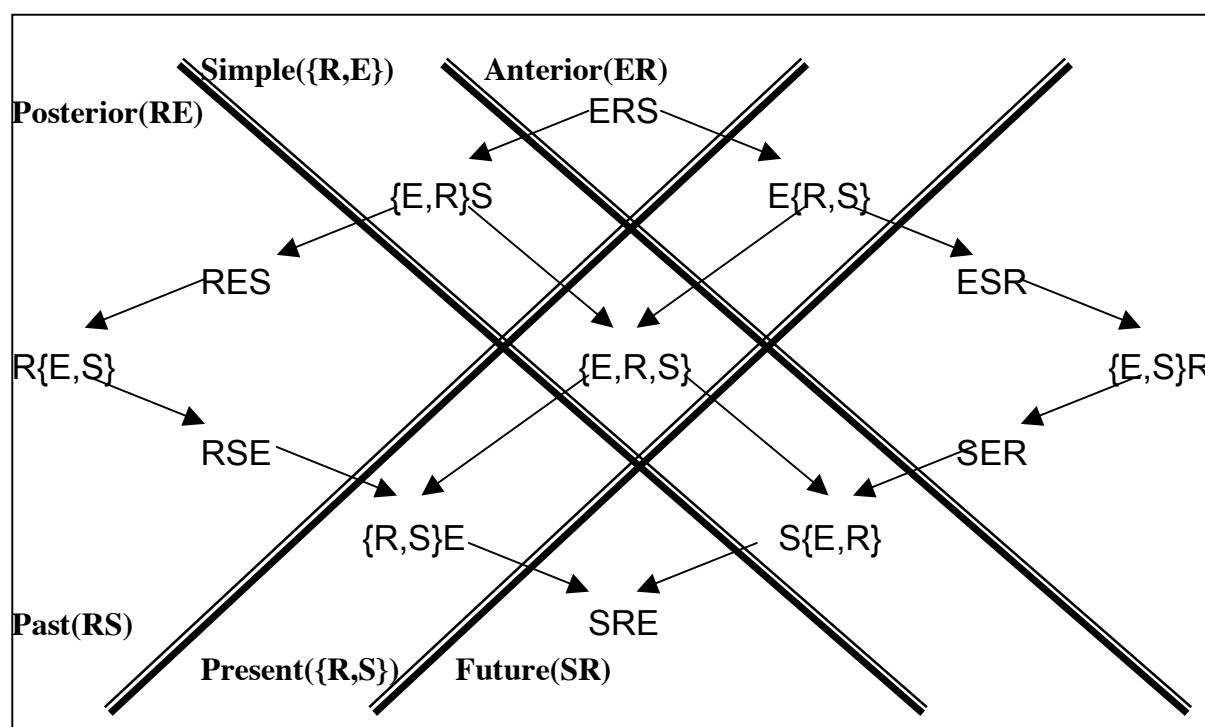


Figure 3 : Le treillis de Beauzée/Reichenbach

Figure 3, les treize configurations sont organisées en un treillis, obtenu en partant du S-mot ERS (Anterior past ou Past perfect) et par application d'un système de règles de réécriture obtenues selon un processus général (Autebert & schwer 2003)⁸, qui appliqué ici donne :

⁸ Les règles de réécriture sont de deux types (Autebert et Schwer 2002) : partant d'un alphabet dont les lettres ont été ordonnées (ici : $E < R < S$), celles de la première ligne consistent à fusionner une S-lettre avec la suivante, quand toutes ses lettres sont plus petites que celles de la S-lettre qui la suit ; celles de la seconde ligne consistent à partitionner une S-lettre par deux S-lettres, les lettres de la seconde S-lettre étant plus petites que celles de la première. Ainsi le S-mot de deux S-lettres ER peut se transformer en Un S-mot d'une seule S-lettre $\{E, R\}$ qui lui-même peut se transformer en le S-mot de deux S-lettres RE, S-mot sur lequel aucune règle n'est applicable.

$ER \rightarrow \{E, R\}$, $RS \rightarrow \{R, S\}$, $ES \rightarrow \{E, S\}$, $E\{R, S\} \rightarrow \{E, R, S\}$, $\{E, R\}S \rightarrow \{E, R, S\}$
 $\{E, R\} \rightarrow RE$, $\{R, S\} \rightarrow SR$, $\{E, S\} \rightarrow SE$, $\{E, R, S\} \rightarrow S\{R, E\}$, $\{E, R, S\} \rightarrow \{S, R\}E$

Les temps sont représentés par les 9 régions constituées par les 4 lignes droites. On constate

- (i) la symétrie du treillis
- (ii) que le temps verbal *anterior past* (*Past perfect* ERS) est voisin des temps *Simple past* ($\{E, R\}S$) et *Anterior present* (*Present perfect* $E\{R, S\}$) qui le séparent du *Simple present* (*Présent* $\{E, R, S\}$)
- (iii) que l'orientation des flèches du treillis donne un ordre temporel aux temps verbaux et qu'il est possible de passer du temps le plus passé (*Anterior Past*) au plus à-venir (*Posterior Future*) sans transiter par le *Present*, qui bien que central, n'est pas « obligatoire ».

Une étude linguistique plus approfondie de ce treillis reste à faire.

Le même système de réécriture permet de générer les treillis correspondant à la transformation d'un des points en intervalle, voire en une séquence de points et/ou intervalles. Nous donnons par exemple le treillis (figure 4) dans lequel E devient un intervalle. Le S-mot de départ est EERS. C'est le treillis dans lequel se situe certains temps verbaux de l'analyse de Saussure (2003). Il montre l'explosion de la taille du treillis (31 éléments au lieu des 13 précédents), en particulier, prendre systématiquement des intervalles pour E, R, S comme le fait Gosselin (1996) correspond à un treillis de 405 éléments.

4.3 Traitement des événements complexes

Examinons par exemple le texte (4) (Kamp et Rohrer 1983 :260, Saussure 2003 :187).

- (4) L'année dernière Jean escalada le Cervin (A). Le premier jour il monta jusqu'à la cabane H (B). Il y passa la nuit (C). Ensuite il attaqua la face nord (D). Douze heures plus tard, il arriva au sommet (E).

Dans la première phrase, l'événement A est décrit dans son entier, comme atomique. Un simple moment temporel suffit à le décrire. Sa temporalité est décrite par le S-mot " $\{a, r\}s$ ", avec s l'identité du procès d'élocution et r marquant la situation du repère. En revanche, la suite de la narration est une décomposition de cet événement en une suite d'épisodes, ou d'événements composants (B, C, D, E) qui nécessite l'usage d'un segment temporel pour les insérer. Il s'agit d'un effet de zoom ou d'une relation de discours d'*élaboration* (Lascarides et Asher 1993) ou d'*encapsulation* (Saussure 2003). Ces événements peuvent être représentés de façon ponctuelle, quitte à leur associer un attribut de durée. L'analyse linguistique nous dit que ces quatre événements sont ordonnés séquentiellement en suivant l'ordre de la narration.

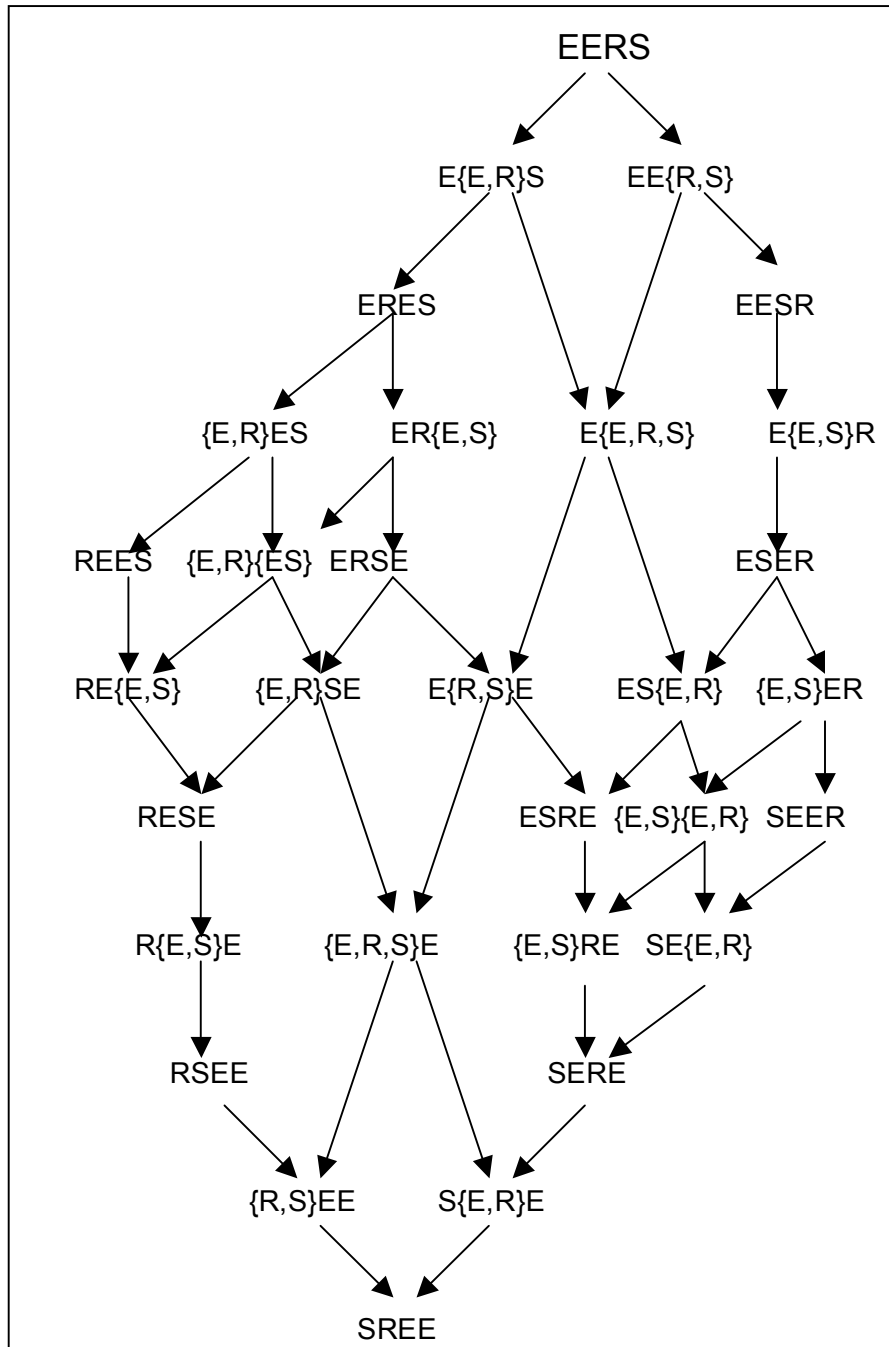


Figure 4 : le treillis avec E étendu.

Suivant Kamp & Rohrer, nous ne marquons que le point de référence narratif de ce sous-texte, ce qui nous donne le S-mot " $bcd\{e,r\}s$ ". Comme ce sont des événements composants, nous les indiquons par le composé (a). Nous dupliquons la lettre a^9 pour obtenir le S-mot " $ab_a c_a d_a \{e_a r_a\} \underline{a} s$ ". Ce passage

⁹ Pour différencier l'interprétation durative d'un procès de son interprétation répétitive, nous marquons les fins des segments correspondant à l'interprétation durative en soulignant l'occurrence de l'identité du procès correspondant à cette fin (l'occurrence de cette identité non soulignée qui la précède correspond au début de ce segment).

d'une représentation ponctuelle d'un événement à une représentation durative permet de représenter un changement de granularité tout en conservant la linéarité du temps. La suppression de l'événement composé entraîne ainsi la suppression de tous ces éléments composants, de façon récursive¹⁰.

Dans l'interprétation de (4), Kamp & Rohrer marquent les informations calendaires, en particulier *l'année dernière* et le *premier jour*. Voyons comment représenter ces informations. Nous associons à la narration un alphabet supplémentaire, alphabet calendaire, représentant les unités associées. Ici, **j** (journée) et **a** (an). Chaque occurrence d'une identité d'unité marque le début de la période correspondante, ainsi le S-langage "**ha** [**f**⊗¹¹**g**] **asa**" signifie que f et g identifient deux événements qui se sont passé l'année précédant l'année courante et h un événement antérieur à cette année dernière. Pour marquer *le premier jour*, il suffit d'encadrer le début de l'événement A et l'événement B par les occurrences de **j**. Ainsi, la temporalité de (4) s'exprimera-t-elle par le S-mot "**ajabajc_ad_a{e_ar_a}{a,r} **asa**" ainsi que la contrainte durative : *durée(d,e)=12heures*. Notons que, pour respecter (Saussure 2003 :187) nous avons fait figurer deux repères¹² celui à l'intérieur du zoom, et celui de A.**

De la même façon, l'exemple (5) (Kamp et Rohrer 1983 :261, Saussure 2003 :187),

(4) L'été de cet année-là vit plusieurs changements dans la vie de nos héros (A). François épousa Adèle (B), Jean-Louis partit pour le Brésil (C) et Paul s'acheta une maison à la campagne (D).

Sera décrit par la séquence "**aéa**[**b_a** ⊗ **c_a** ⊗ **d_a** ⊗ **r_a**]{a,r} **éas**"

Le fait que "s" ne soit pas entouré de "**a**" signifie que l'année comprise entre les deux "**a**", n'est pas déterminée. La lettre **é** est l'identité de l'unité calendaire *été*.

Ainsi, nous avons mis en évidence une structure bidimensionnelle du temps linguistique : une dimension linéaire et orientée du temps, sur laquelle des événements sont séquentiellement ordonnables, et une dimension orthogonale, liée à la relation partie-tout entre événements. Cette dimension correspond à un effet de zoom, ou à des changements de granularités. On peut la réintégrer dans la première dimension, grâce au fait qu'à chaque décomposition le nombre de composants est fini ou au pire (en puissance) dénombrable (cas des itérations) et qu'il n'y a qu'un nombre fini de

¹⁰ Si un événement composant est lui-même composé, ses composants ne seront indicés que par lui. La fermeture transitive et réflexive de cette relation (composant, composé) permet de retrouver tous les composants et sous-composants d'un composé.

¹¹ Nous utilisons le symbole ⊗ à la place de la jointure ∃ quand les deux arguments s'écrivent sur des alphabets disjoints, pour signifier qu'il n'y a aucune contrainte imposée entre les deux séquences. Nous avons donc ici un S- langage composé de trois S-mots : celui composé de la séquence "*fg*", celui composé de "*gf*" et celui composé de la S-lettre "*{f,g}*"

¹² Nous avons choisi de le faire figurer ponctuellement sur la borne terminale de A, ce qui correspond au retour de fin de zoom.

décompositions (le procédé stylistique de mise en abyme donne l'illusion d'une suite infinie de décompositions, mais il n'en est rien factuellement). En revanche, le choix de Saussure de marquer un repère par niveau permet facilement de repérer les changements de niveaux successifs.

4.5 . A propos de la nécessité d'un opérateur Now (maintenant)

Martin & Neff (1981) affirment qu'il y a nécessité d'un opérateur Now pour expliquer la différence sémantique des deux phrases (5) et (6).

(5) A child was born (A) that would become ruler of the world(B)

(Un enfant était né qui deviendrait le maître du monde)

(6) A child was born (A) that will become ruler of the world(B)

(Un enfant est né qui deviendra le maître du monde)

« Pour reprendre l'explication de Kamp, il est clair que dans (1), si un enfant naît pour devenir maître du monde, il le devient à un moment t' postérieur à t , t étant le moment de la naissance, tandis que dans (2), si un enfant naît pour devenir maître du monde, il le devient à un moment t' postérieur certes au moment de la naissance, mais également au moment présent. »

Cette analyse linguistique se traduit en (5) " $a[b \otimes s]$ " et (6) " asb "

Ces deux S-langages traduisent exactement les effets sémantiques requis : l'événement B se situe dans le futur de A dans les deux phrases, l'événement A se situe dans le passé de l'événement d'élocution dans les deux phrases. Mais alors que dans la phrase (1), l'événement B n'est pas situé par rapport à l'événement S (ni directement ni par inférence linguistique), il l'est dans la phrase (2). Seule une étude plus poussée du contexte historique pourrait conduire à choisir l'ordonnancement correspondant à la temporalité effective du monde décrit. Intuitivement, on a envie d'exclure la séquence temporelle " $a\{b,s\}$ " correspondant à la simultanéité des événements B et S. En revanche, un oracle, peu de temps après la naissance de l'enfant, peut avoir dit (2) ce qui conduit au choix du S-mot " asb "; un historien de nos contemporains peut également avoir dit cette phrase, ce qui conduit alors au choix du S-mot " abs ".

Bibliographie

Autebert J.-M. & Schwer R. S. (2003) « On generalized Delannoy Paths », *SIAM Journal on Discrete Mathematics* 16 (2), 208-223.

Bennett M. & Partee B. (1978) *Toward a logic of tense and aspect in English*, Indiana University Linguistics Club.

Combettes B., François J., Noyau C. & Vet C. (1993) « Introduction à l'étude des aspects dans le discours narratif ». *Verbum* 4, 5-48.

Desclés J.-P. (1980) « Mathématisation des concepts linguistiques », *Modèles linguistiques*, T.III, fasc. 1, 21-56.

- François J. (1993) « La compréhension de l'articulation chronologique des séquences narratives : un exercice de linguistique cognitive ». *Verbum* 4, 49-70.
- Gosselin L. (1996) *Sémantique de la temporalité en français : un modèle calculatoire et cognitif du temps et de l'aspect*. Duculot.
- Guentcheva Z. (1990) *Temps et Aspect* Paris, Eds du CNRS.
- Kamp H. (1981) « Événements, représentations discursives et référence temporelle ». *Langages* 64, 39-64.
- Kamp H. & Rohrer C. (1983) « Tense in texts », in Bauerle R., Schwarze C. & von Stechow A(Eds), *Meaning, Use and Interpretation of Language*, Berlin and New York, de Gruyter, 250-269.
- Kamp H. & Reyle U. (1993) *From Discourse to Logic*, Dordrecht, Kluwer Academic Press.
- Lascarides A. & Asher N.(1993)« Temporal Interpretation, Discourse relations, and Commonsense Entailment ». *Linguistics and philosophy* 16, 437-493.
- Martin R. & Neff F. (1981) « Temps linguistique et temps logique », *Langages* 64, 7-21.
- Mc Taggart J. E. (1908) « The Unreality of Time », *Mind* 17, 457-474.
- Moeschler J. & al. (1998) *Le temps des événements*, Paris, Kimé.
- Reichenbach H. (1947) *Elements of symbolic logic*, New York, MacMillan.
- Reichenbach H. (1956) *The direction of time*, Berkeley : University of California Press.
- Russell B. (1901) « On the Notion of Order », *Mind* (ns) 10, 35-51.
- Russell B. (1961) *Histoire de mes idées philosophiques*. Gallimard.
- Saussure L. de (1997) « Le Temps chez Beauzée: algorithmes de repérage, comparaison avec Reichenbach et problèmes théoriques ». *Cahiers Ferdinand de Saussure* 49,171-195.
- Saussure L. de (2003) *Temps et pertinence. Élément de pragmatique cognitive du temps*. Bruxelles, Duculot.
- Schwer R. S. (2002) « Formalizing Calendars with the Category of Ordinals », *Applied Intelligence* 17 (3), 275-295.
- Schwer R. S. (2006a) « Traitement de la Temporalité des Discours : une Analysis Situs ». *Cahier Chronos*, à paraître.
- Schwer R. S. (2006b) « Le système des formes verbales de Marc Wilmet revisité dans une perspective néo-reichenbachienne ». Colloque Chronos 7, Anvers 18-24 sept,
- Vet C. (1980). *Temps, aspects, et adverbes de temps en français contemporain*. Geneva, Droz.
- Vet C. (2004) Faut-il suivre Reichenbach ? Conférence plénière 1, Chronos 6, Genève 22-24 sept
- Vitré A. (1644) *Les Rudimens de La Langue Latine*.
- Mac Wilmet (2003) *Grammaire critique du français*, 3^e édition, Duculot